

Conversão biológica de Nitrato em reatores com leito de material orgânico empacotado

Biological Nitrate Conversion in Packed Organic Bed Reactors

Conversión biológica de nitrato en reactores de lecho orgánico empaquetado

Paulo Vitor de Figueiredo Bacovis

Mestrando Engenharia Sanitária e Ambiental, UEPG, Brasil
pbacovis@gmail.com

Gustavo Frederich Dechandt

Residente Técnico em Projetos e Obras Públicas, UEPG, Brasil
gustavofdechandt@gmail.com

Zacarias Alves Siqueira Neto

Engenheiro Civil
zacariasneto101@gmail.com

Guilherme Araújo Vuitik

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento, UEPG, Brasil
gavuitik@uepg.br

RESUMO

Com o crescimento das indústrias madeiras e cervejeiras, a produção de resíduos como casca de malte e cavaco de madeira aumentou, bem como a geração de seus respectivos efluentes que podem ser prejudiciais, visto que são ricos em nitrato, nutriente essencial para algas, portanto podendo gerar eutrofização. A fim de remover nitrato, os reatores convencionais possuem dois compartimentos, um para realizar a nitrificação e outro para desnitrificação. Visando converter o nitrato em nitrogênio molecular e evoluir na pesquisa de reatores que promovem nitrificação e desnitrificação em um único reator, chegou-se nessa pesquisa, cujo objetivo consistiu em avaliar a possibilidade do emprego de casca do malte e do cavaco de madeira como fonte de carbono e meio suporte no processo de conversão biológica de Nitrato em Nitrogênio gasoso. Esta pesquisa consistiu em duas fases, a primeira para fixar os microrganismos no biorreator e a segunda para tratar o efluente. Na fase 1 foram feitas coletas e amostras a cada 24 h a fim de visualizar a inoculação através de análise de nitrato e demanda química de oxigênio, a fase 2 consistiu em coletas a cada 12 h e foram feitas comparações de remoções de nitrato. Após a fase 2 foram comparados os reatores e as fontes de carbono, após isso, chegou-se em remoções de nitrato acima de 58% para o cavaco e acima de 65% para a casca do malte, com estes resultados, conclui-se que as fontes são viáveis como fonte de carbono na conversão biológica de nitrato em reatores NDS.

PALAVRAS-CHAVES: Efluente; Casca do Malte; Cavaco de madeira; Bactéria Heterotrófica; Remoção de Nitrogênio.

SUMMARY

With the growth of the timber and brewing industries, the production of waste such as malt husks and wood chips has increased, as well as the generation of their respective effluents, which can be harmful, as they are rich in nitrate, an essential nutrient for algae, and can therefore generate eutrophication. In order to remove nitrate, conventional reactors have two compartments, one for nitrification and the other for denitrification. Aiming to convert nitrate into molecular nitrogen and evolve in the research of reactors that promote nitrification and denitrification in a single reactor, this research was carried out, the objective of which was to evaluate the possibility of using malt husk and wood chips as a source of carbon and supporting medium in the biological conversion process of Nitrate into gaseous Nitrogen. This research consisted of two phases, the first to fix the microorganisms in the bioreactor and the second to treat the effluent. In phase 1, samples were collected every 24 hours in order to visualize the inoculation through nitrate analysis and chemical oxygen demand. Phase 2 consisted of collections every 12 hours and comparisons of nitrate removals were made. After phase 2, the reactors and carbon sources were compared, after which nitrate removals were reached above 58% for the chip and above 65% for the malt husk, with these results, it is concluded that the sources are viable as a carbon source in the biological conversion of nitrate in NDS reactors.

KEYWORDS: Effluent; Malt Husk; Wood chip; Heterotrophic Bacteria; Nitrogen Removal.

RESUMEN

Con el crecimiento de las industrias maderera y cervecera, se ha incrementado la producción de residuos como cáscaras de malta y astillas de madera, así como la generación de sus respectivos efluentes, que pueden ser nocivos, al ser ricos en nitrato, nutriente esencial para las algas, por lo que pueden generar eutrofización. Para eliminar el nitrato, los reactores convencionales tienen dos compartimentos, uno para la nitrificación y otro para la desnitrificación. Con el objetivo de convertir el nitrato en nitrógeno molecular y evolucionar en la investigación de reactores que promuevan la nitrificación y desnitrificación en un solo reactor, se realizó esta investigación cuyo objetivo fue evaluar la posibilidad de utilizar cáscara de malta y astillas de madera como fuente de Carbono y medio de soporte en el proceso de conversión biológica de nitrato en nitrógeno gaseoso. Esta investigación constó de dos fases, la primera para fijar los microorganismos en el biorreactor y la segunda para tratar el efluente. En la fase 1 se recolectaron muestras cada 24 horas para visualizar la inoculación mediante análisis de nitratos y demanda química de oxígeno, la fase 2 consistió en recolectas cada 12 horas y se realizaron comparaciones de remociones de nitratos. Luego de la fase 2 se compararon los reactores y las fuentes de carbono, luego de lo cual se alcanzaron remociones de nitratos superiores al 58% para la viruta y superiores al 65% para la cáscara de malta, con estos resultados se concluye que las fuentes son viables como fuente de carbono en la conversión biológica de nitrato en reactores NDS.

PALABRAS CLAVE: Efluente; cáscara de malta; Astillas de madera; Bacterias Heterótrofas; Eliminación de nitrógeno.

1 INTRODUÇÃO

Estagnada em 2019 e com queda de 4,8% em 2020, a indústria brasileira voltou a crescer em 2021, com um crescimento de 4,9 %, o país ainda fica atrás da média mundial, que após ter um recuo de 4,2 % na pandemia, recuperou-se e fechou 2021 com 9,4 % de crescimento (IEDI, 2021).

Uma das principais indústrias no Brasil é a indústria cervejeira, a qual ajudou o país a se recuperar pós pandemia com um crescimento de 7,6 % em 2021 (ALVARENGA; SILVEIRA, 2022). Em 2022, o país consumiu quase 16 bilhões de litros de cerveja, um recorde para o país (ALVARENGA; SILVEIRA, 2022). Todavia, esta indústria possui um problema na produção de resíduos, na produção da cerveja, estima-se que a cada 100 L de cerveja produzidos são gerados 20 kg de casca de malte, este consiste em aproximadamente 85 % dos subprodutos gerados, além de não possuir funcionalidade para indústria pode ser grande agente poluidor quando descartado de forma incorreta (MAIA, 2020).

Outra indústria com destaque no país é a madeireira, visto que o Brasil possui 12 % do total mundial de cobertura florestal, aproximadamente 495 milhões de hectares. Em 2022 a produção da indústria de madeira sólida chegou em aproximadamente R\$ 26,8 bilhões, além de uma balança de U\$ 3,6 bilhões, ou seja, 5,8 % do total do país (ABIMCI, 2023). Esta indústria gera um grande volume de resíduos, podendo chegar até a 67 % do volume da tora, uma maneira de aproveitá-lo melhor é a trituração até obter o cavaco de madeira o qual é pouco aproveitado (NASCIMENTO; DUTRA; NUMAZAWA, 2006)

Além dos resíduos já citados, estas e outras indústrias, por consumirem grandes quantidades de água, acabam por gerar ainda mais efluentes em suas produções (MATOS et. al. 2010). Ao passo que as indústrias foram crescendo, aumentou-se também a produção de compostos nitrogenados visto que muitos deles são liberados nestes efluentes como nitrito, nitrato e amônia. (ZORZETTO, 2008).

Quando o efluente rico em compostos nitrogenados é descartado de forma incorreta num corpo d'água pode gerar um processo chamado eutrofização, o qual consiste num crescimento excessivo de algas por conta do alto teor de nutrientes, este dificulta o desenvolvimento de seres aeróbicos por conta do aumento da demanda química de oxigênio (DQO) (BRANCO *et al.*, 2015). O alto teor de nitrogênio oxidado na forma de nitrato e nitrito torna a água imprópria para consumo, por conta que estes podem ocasionar doenças como metahemoglobinemia a qual pode causar insuficiência cardíaca em pessoas e animais. A fim de limitar concentrações destes e outros nutrientes, surgiram resoluções como CONAMA 430/11 e CONAMA 357/05 as quais visam uma melhor segurança para população.

Com o objetivo de atender resoluções como estas citadas, além de aperfeiçoar tecnologias existentes, surgiram métodos para executar a remoção do nitrogênio das águas residuárias, como o reator que opera com nitrificação e desnitrificação simultânea (NDS), este se mostrou efetivo para reduzir a DQO (SOUZA, 2019) e também a matéria orgânica em esgoto sanitário (POLAK, 2018).

O reator NDS é operado com bactérias do tipo heterótrofas, as quais necessitam de uma fonte externa de carbono orgânico para seu metabolismo (DOMINGUES et al, 2007). Este reator de como foco os processos de desnitrificação e nitrificação, os quais consistem na

transformação de nitrogênio amoniacal em nitrogênio gasoso. (ZOPPAS; BERNARDES; MENEGUZZI, 2016).

Silva (2021) estudou o sabugo de milho como doador de elétrons e meio suporte, este se mostrou efetivo na remoção de nitrato. A casca de arroz foi investigada por Fowdar (2021) executando a mesma função num processo de tratamento de água residuária e se mostrou efetivo no tratamento secundário e terciário.

Outra fonte alternativa de carbono estudada foi o policaprolactana (PCL), o qual consiste de um polímero biodegradável, este foi, também, meio suporte utilizado em um reator NDS a fim de promover a remoção do nitrogênio.

Além dos citados, Ling (2021) estudou mais seis fontes de carbono atuando como meio suporte, sendo elas: Palha de arroz, palha de trigo, talo e sabugo de milho, talo e casca de soja, os quais atingiram resultados semelhantes e positivos na remoção de nitrogênio amoniacal, destaque para o sabugo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a possibilidade do emprego de casca do malte e do cavaco de madeira como fonte de carbono e meio suporte no processo de conversão biológica de Nitrato em Nitrogênio gasoso.

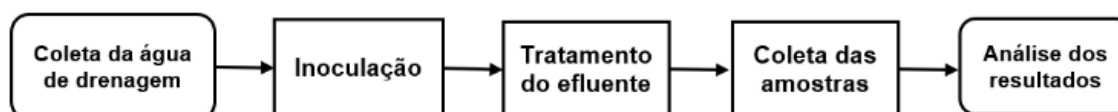
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o processo de partida de reatores biológicos do tipo batelada com leito empacotado com casca de malte e cavaco de madeira, na conversão biológica de Nitrato em Nitrogênio molecular;

Estudar a eficiência de reatores biológicos do tipo batelada com leito empacotado com casca de malte e cavaco de madeira, na conversão biológica de Nitrato em Nitrogênio molecular.

3 METODOLOGIA

Neste estudo foi investigada a viabilidade da casca do malte e do cavaco de madeira como meio suporte e fonte de carbono num reator de nitrificação e desnitrificação simultânea do tipo batelada e leito fixo operando com tempos de detenção hidráulica de 24 e 12 horas. A metodologia consistiu na operação de três reatores com meios suportes distintos, mini Biobob®, casca do malte e cavaco de madeira, comparando as remoções de nitrato de cada um. O fluxograma a seguir representa as etapas da pesquisa.



3.1 REATOR

Para o experimento, utilizou-se três biorreatores em escala de bancada e operados em batelada. Estes consistiam de um recipiente cilíndrico de acrílico com volume de aproximadamente 574 ml, 13 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro.

Estes reatores utilizaram duas bombas distintas, sendo uma da marca Tecnopon e de modelo LDP-104-6 operando com uma vazão de 160 mL/min, o qual recirculava a água residuária no interior dos reatores com casca do malte e cavaco de madeira. No reator que operava com o mini Biobob[®], foi utilizada a bomba da marca OFA ambiental com vazão média de 83 mL/min. O Biobob[®] em seu reator tinha apenas a função de meio suporte, diferente dos reatores com matéria orgânica, os quais possuíam a função, também, de fonte de carbono.

3.2 EFLUENTE

O efluente utilizado foi uma água de drenagem agrícola utilizada em uma fazenda na região da Castrolanda, em Castro, Paraná (Figuras 1 e 2). Após sua obtenção, foi levado a laboratório e feito sua caracterização através de ensaios para determinar os seguintes parâmetros: Sólidos, nitrato, nitrito, pH, alcalinidade e DQO, além da temperatura que foi medida no local.

Figura 1 - Representação do município de Castro no estado do Paraná



Fonte: Autores, 2023

Figura 2 – Água de drenagem agrícola



Fonte: Autores, 2023

Para sua recirculação, o efluente foi enriquecido com nitrato de sódio numa faixa de 30 a 50 mg/L a fim de se obter uma melhor visualização da remoção do nitrato nos reatores de casca do malte e cavaco de madeira.

3.3 INOCULAÇÃO (FASE 1)

A inoculação consiste na etapa em que os microrganismos responsáveis pelo processo são fixados no reator, estes são provenientes inteiramente da água de drenagem coletada. Para este processo ocorrer, o efluente é recirculado nos reatores e é avaliada periodicamente a concentração de nitrato e DQO. Esta recirculação aconteceu nove vezes com um TDH de 24 horas.

Como o objetivo desta etapa é fixar as bactérias heterotróficas, as quais são responsáveis pela remoção do nitrogênio presentes na água de drenagem no reator, esta fixação é observada quando a demanda química de oxigênio (DQO) tende a zero associada à queda na concentração de nitrato, pois aquela indica a quantidade de oxigênio dissolvido e esta indica que as bactérias ali presentes transformaram o nitrato em nitrogênio molecular.

3.4 OPERAÇÃO DO REATOR (FASE 2)

Concluída a fase de inoculação, iniciou-se a operação do reator, o efluente foi enriquecido com nitrato de sódio e recirculado no reator. A cada 12 horas era feita uma coleta da amostra do efluente para determinar a quantidade de nitrato removida, após esta coleta, o efluente era descartado e os reatores eram abastecidos novamente.

3.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A variável de entrada no experimento foi o TDH e a de saída foi a eficiência de conversão de Nitrato. Realizou-se a análise de variância (ANOVA) para determinação de diferença estatística significativa entre os dados para então determinar se o cavaco de madeira e o sabugo de milho foram eficientes na conversão biológica de nitrato em nitrogênio molecular.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA

O primeiro resultado encontrado foi acerca da água residuária, visto que foram feitos ensaios em laboratório para entender de fato as características do efluente utilizado no estudo. Os parâmetros analisados foram: Alcalinidade, condutividade, DQO, nitrato, nitrito, pH, sólidos e temperatura.

Quadro 1 - Parâmetros da água residuária

Parâmetro	Valor
DQO (mg/L)	0
Temperatura (°C)	13
Nitrito (mg/L)	0,003
Nitrato (mg/L)	2,36
Sólidos totais (mg/L)	53,33
Sólidos fixos (mg/L)	20
Sólidos voláteis (mg/L)	33,33
Alcalinidade (ppm)	9,194
pH	6,04

Fonte: Autores, 2023

A demanda química de oxigênio mostrou um resultado nulo na análise, este valor representa a ausência de matéria orgânica proveniente do carbono, cuja é essencial para conversão heterótrofa de nitrato e nitrogênio molecular (PHILIPS, 2008). Em contrapartida, a concentração de sólidos voláteis (33,33 mg/L) indica a possível presença de matéria orgânica nitrogenada na água residuária da lavoura (SOUSA, 1999).

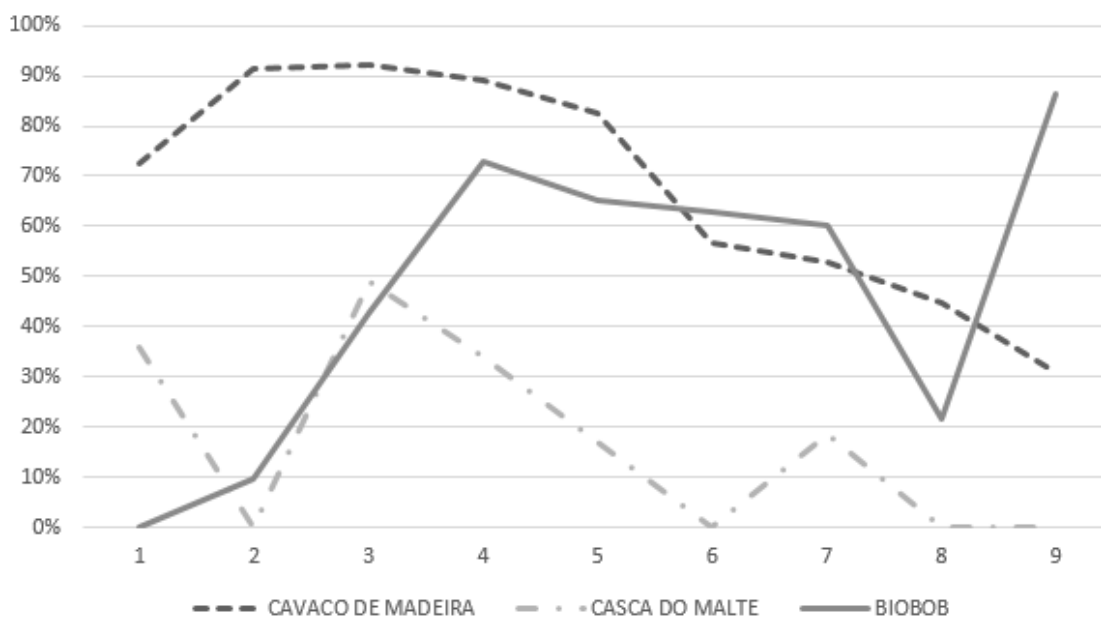
A temperatura de 13 °C se encontra dentro do intervalo de 8 a 28 °C indicada por Zoppas (2016) como uma faixa na qual existe um aumento na atividade das bactérias. Além disso, o valor de potencial hidrogeniônico (6,04) se encontra próximo da neutralidade (pH = 7,00), devido a este valor, não foi preciso a adição de um alcalinizante para além da alcalinidade presente (9,194 ppm) (SOUTO, 2009).

Em relação aos compostos nitrogenados, foi necessário um enriquecimento ao longo do experimento a fim de se obter uma melhor visualização do experimento, este foi devido à baixa concentração de nitrato no efluente (2,36 mg/L), já o nitrato apresentou baixa concentração (0,003 mg/L), o que indicou que já ocorrera a nitrificação da água residuária (VON SPERLING, 1996).

4.2 FASE I

Após a coleta da água de drenagem, iniciou-se a primeira fase, a qual consistiu no abastecimento do efluente bruto enriquecido com nitrato a fim de se obter um valor entre 8 e 28 mg/L, diariamente foram feitos ensaios respeitando o TDH de 24 h por coleta, não houve troca de efluente durante o processo. Os valores encontrados podem ser observados na figura 3.

Figura 3 - Comparativo entre remoções de Nitrato - Fase 1



Fonte: Autores, 2023

Nesta fase, observa-se pelos valores do gráfico que não ocorreu o processo de inoculação no reator preenchido com casca de malte, visto que a concentração de nitrato não reduziu consideravelmente ao passar do tempo, conseqüentemente, conclui-se que a casca do malte não se mostrou adequada como meio suporte e fonte de carbono para o processo de conversão biológica de nitrogênio.

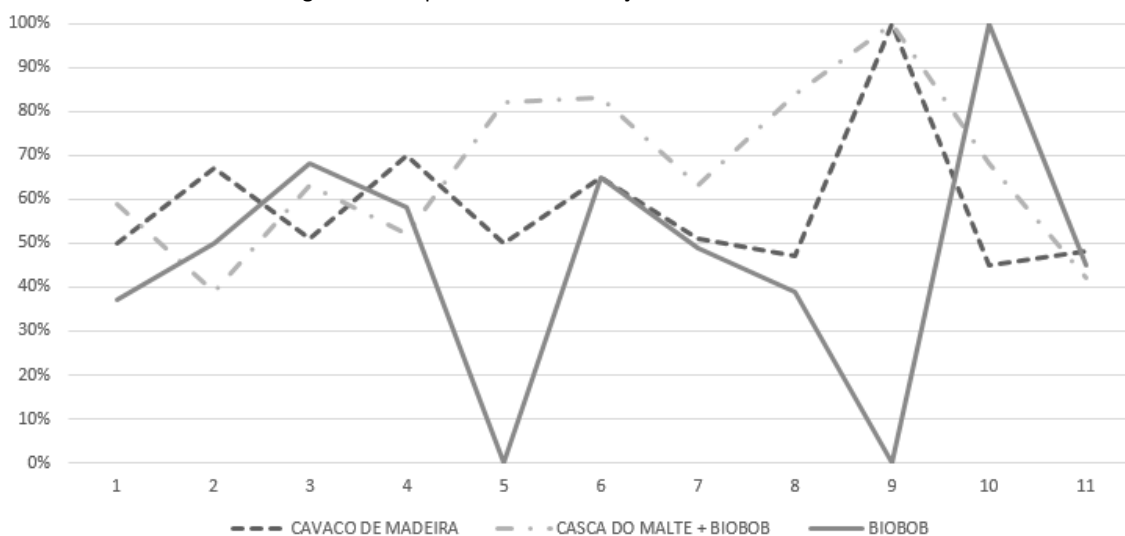
O reator operado com cavaco de madeira mostrou uma alta eficiência de conversão nos cinco primeiros ensaios, todavia esta eficiência foi reduzindo ao longo do processo, este aumento pode ter origem na hidrólise de compostos nitrogenados presentes no cavaco devido a imersão em meio aquoso por tempo prolongado

Em relação ao reator alimentado com Biobob®, este apresentou valores consideravelmente altos na remoção de nitrato (acima de 40%, resultado qual não era esperado, visto que a água residuária apresentou baixa matéria orgânica carbonácea, necessária no processo de desnitrificação, portanto o reator com Biobob® não deveria remover nitrato, porém o aumento contínuo na eficiência de remoção indica adaptação da biomassa.

4.3 FASE II

Na segunda fase, os ensaios passaram a ser realizados de 12 em 12 horas, havendo troca do efluente entre cada um dos ensaios, isto é, o reator era esvaziado no fim de cada ensaio e realimentado com efluente enriquecido para o próximo ciclo, além disso, a casca do malte se mostrou inviável se utilizada como meio suporte e fonte de carbono, portanto foi testada nesta fase se esta possui a capacidade de otimizar a remoção de nitrato, como fonte de carbono, caso o reator possua outro meio suporte, no caso em questão o Biobob®.

Figura 4 - Comparativo entre remoções de Nitrato - Fase 2



Fonte: Autores, 2023

O gráfico mostra a eficiência na remoção de nitrato dos três reatores, o reator preenchido com casca do malte e Biobob® apresentou uma eficiência média de foi de 66%. \pm 22%, já o reator operando com cavaco de madeira mostrou uma conversão de média de 58 \pm 16% e o preenchido apenas com Biobob® 46 \pm 29%.

Observou-se desnitrificação no reator empregado apenas com Biobob®, a qual não era esperada, todavia acredita-se que ocorreu uma desnitrificação autotrófica, ou seja, sem fonte de carbono orgânico. Esta se deve a uma rota alternativa para oxidação da amônia a qual ocorre simultânea à redução de nitrito em meio anaeróbico, como o processo ANAMMOX, sigla em inglês para oxidação anaeróbia da amônia. (ALVES, 2018).

O reator com cavaco de madeira mostrou-se enquadrar nas resoluções da Conama 430/2011, segundo a qual a máxima concentração de nitrato permitida em lançamentos de efluentes é de 10 mg/L, com exceção do ensaio 7. Este apresentou uma eficiência superior a 58 %, podendo, portanto, ser usada na conversão biológica de nitrogênio

Pela eficiência apresentada, o reator da casca do malte pode ser utilizado no tratamento de efluentes, pois pode se observar uma eficiência considerável (acima de 65 %) para uma fonte de carbono que não tem custo para indústria.

5 CONCLUSÃO

A casca de malte não se mostrou viável para emprego como meio suporte e fonte de carbono na conversão biológica de nitrato, pois não mostrou utilidade para agregar as bactérias em si, visto que a concentração não baixou de 7,33 mg/L, chegando em uma média de apenas 11,82 mg/L, mostrando que não ocorreu inoculação, todavia atuando apenas como fonte de carbono ela se mostrou viável para indústria.

Ao longo do processo de partida (inoculação) do reator com cavaco de madeira, o mesmo revelou-se capaz de remover Nitrato. Apesar disso, apresentou diminuição de sua

eficiência média ao longo da inoculação, podendo ter origem na hidrólise de compostos nitrogenados presentes no cavaco de madeira.

Durante a segunda fase, verificou-se novamente a eficiência na conversão biológica do Nitrato em Nitrogênio molecular no reator com cavaco de madeira ($58,5 \pm 16\%$), sendo superior à do reator com o meio suporte Biobob® ($46,5 \pm 29\%$). Essa diferença, porém, não é considerada significativa, já que ambos os reatores apresentaram grandes desvios dos padrões de suas eficiências médias de remoção. Além disso, essas remoções possivelmente tiveram origem em rotas metabólicas diferentes

Conclui-se que o emprego do cavaco de madeira como fonte de carbono e meio suporte no processo de conversão biológica de Nitrato em Nitrogênio molecular é viável, já que pôde enquadrar-se na normativa que diz respeito às concentrações de Nitrato em efluentes. Em função da eficiência de remoção do nitrato num reator que utiliza casca do malte e Biobob® ($66 \pm 22,81\%$), com TDH de 12 h, conclui-se que a casca do malte otimiza a conversão biológica de nitrogênio quando utilizada apenas como fonte de matéria orgânica em um reator que possui o Biobob® como meio suporte, com possíveis rotas autotróficas de desnitrificação, visto que o reator com Biobob® apresentou eficiência de apenas $20 \pm 80,03\%$.

Realizou-se ao fim o teste de análise de variância (ANOVA) para determinação de diferença estatística significativa entre os dados, para tal foi definido um nível de significância de 5 %, após esta concluiu-se que os reatores preenchidos com casca do malte e o preenchido com casca do malte e Biobob® não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre eles e entre o reator do Biobob® ($F=1,896$ p-value=0,168).

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABIMCI. **Estudo setorial em números**. Disponível em: <https://abimci.com.br/abimci-lanca-estudo-setorial-2022-numeros-setor-industrial-madeireiro/>. Acesso em: 30 de set. 2023.

ALVARENGA, D.; SILVEIRA, D. **Consumo de cerveja cresce no país mesmo com inflação e movimento ainda fraco nos bares**. G1, 2022. Disponível em <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2022/06/11/consumo-de-cerveja-cresce-no-pais-mesmo-com-inflacao-e-movimento-ainda-fraco-nos-bares.ghtml>>. Acesso em: 03 de ago. de 2022.

ALVES, C. F.; BORTOLUCI, C. B. C.; OLIVEIRA, E. P.; PIZZO, M. M.; RODRIGUEZ, R. Remoção biológica de nitrogênio em águas residuárias: uma revisão dos processos convencionais aos processos modernos. **Revista IberoAmericana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 3, p. 174–187, 2018

BRANCO, P.M.P.; NOGUEIRA, R.G.S.; FERREIRA, L.M.S.; BORGES, F.A.; LUCAS, J. **Importância dos nutrientes no efluente de águas residuárias humanas à saúde pública**. In: Simpósio Internacional de Medicina Veterinária Preventiva, 2., 2015, Jaboticabal, São Paulo.v. 31, n. 2, 2015.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e 120 diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente.2005.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 de março de 2005 do CONAMA**. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. 2011.

DOMINGUES, V.O.; TAVARES, G.D.; STUKER, F.; MICHELOT, T.M.; REETZ, L.G.B.; BERTONCHELI, C.M.; ROENER, R. Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias. **Revista do Centro de Ciências da Saúde, Santa Maria**, v. 33, n. 1, 2007, p. 15-19.

LING, Y., YAN, G., WANG, H., DONG, W., WANG, H., CHANG, Y., LI, C. Release mechanism, secondary pollutants and denitrification performance comparison of six kinds of agricultural wastes as solid carbon sources for nitrate removal. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **Revista Environmental Research and Public Health** v. 18, n. 3, 2021, p. 1232.

MAIA, I. C. **Avaliação de compostos bioativos de bagaço de malte de cervejaria artesanal e a influência da fermentação em estado sólido**. 2020. Dissertação (Mestrado Alimentos e Nutrição). Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. 2020.

MATOS, A; ABRAHÃO, S; LO MONACO, P; SARMENTO, A; MATOS, M. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1311-1317, 2010.

NASCIMENTO, SM ; DUTRA, R. IJP; NUMAZAWA, S. Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Revista Holos Environment**, v. 6, n. 1, p. 08-21, 2006.

PHILIPS, Angelina Maria de Lima. **Utilização de reator de biodiscos para tratamento de efluentes com altas concentrações de nitrogênio**. 2008.

POLAK, R. **Reator de leito empacotado em escala piloto para remoção de matéria orgânica e nitrogenada de esgoto sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Área de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2018.

SILVA, T. **Remoção de nitratos de água de drenagem agrícola em biorreator com suporte de sabugo de milho e espuma de poliuretano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Área de concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2021

SOUSA, José Tavares de; FORESTI, Eugênio. Utilização de lodo anaeróbio como fonte externa de carbono no processo de desnitrificação de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 69-73, 1999.

SOUTO, G. D. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros: estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (stripping)**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo, 2009.

SOUZA, T. N. **Influência da concentração de alcalinidade e relação C / N no processo de nitrificação e desnitrificação simultânea de efluente de microcervejaria em um reator de leito estrutura do**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2019.

Instituto de Estudos para o desenvolvimento industrial (IEDI). **A indústria em 2021: o Brasil aquém do mundo**. Disponível em: https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_1137.html, acesso em: 27 de set. de 2023

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. **Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea**. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 21, n. 1, 2016, pp. 29-42.

ZORZETTO, R. **Uma proteína fundamental**: Equipe brasileira explica o funcionamento da forma saudável do prion, essencial para a proteção das células nervosas. *Pesquisa*, [s. l.], ed. 148, 14 jun. 2008.